

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki kelimpahan makroalga dengan jumlah lebih dari 628 jenis makroalga dari 8000 jenis makroalga yang ditemukan di seluruh dunia (Sukmawaty *et al.*, 2016). Keanekaragaman makroalga terdiri dari beberapa jenis antara lain *Chlorophyta* (alga hijau), *Phaeophyta* (alga coklat) dan *Rhodophyta* (alga merah). Diantara keanekaragaman tersebut, alga hijau memiliki keunggulan dari berbagai aspek. Dari sisi lingkungan, alga hijau membutuhkan air dan pupuk dalam jumlah rendah, mampu menyerap CO₂ secara efisien, serta berperan dalam daur ulang limbah. Secara ekonomi, makroalga memiliki biaya budidaya jangka panjang yang lebih rendah dibandingkan sumber hewani dan cocok untuk dibudidayakan dalam sistem industri tertutup. Dari segi nutrisi, makroalga kaya akan protein, serat, asam lemak omega, vitamin, dan antioksidan, sehingga bernilai tinggi sebagai bahan pangan maupun pakan. Secara fungsional, alga hijau juga berperan dalam produksi aditif alami, pewarna biologis, serta pengawet antimikroba dan antioksidan (Mirmohammadmakki *et al.*, 2025).

Salah satu jenis makroalga yang potensial adalah *Caulerpa* sp., atau dikenal sebagai "anggur laut/sea grapes" (Arifianti *et al.*, 2020). Anggur laut seperti *C. racemosa* dan *C. lentillifera* banyak dibudidayakan secara komersial di berbagai negara Asia Tenggara karena kemudahan budidaya, pertumbuhannya yang cepat (Pangestuti *et al.*, 2021). Anggur laut tumbuh secara alami dan banyak dimanfaatkan masyarakat sebagai sayuran. Masyarakat

di wilayah pesisir telah mengonsumsi *Caulerpa* sp. sebagai lalapan, terutama di musim paceklik, saat ikan sulit ditemukan. Beberapa laporan menunjukkan bahwa *Caulerpa* sp. sangat baik untuk diolah menjadi berbagai produk olahan dan memiliki potensi besar sebagai pangan fungsional (Tapotubun *et al.*, 2020). *Caulerpa* sp. dapat menghasilkan berbagai senyawa bioaktif seperti polifenol, karotenoid, dan antioksidan (Babich *et al.*, 2024), sehingga berpotensi sebagai antimikroba, antioksidan, dan antikanker (Pangestuti *et al.*, 2021).

Senyawa bioaktif *Caulerpa* sp. seperti antioksidan, polifenol, dan karotenoid umumnya banyak ditemukan pada bagian thallus (Nurdiansyah *et al.*, 2021). Thallus pada *Caulerpa* sp. dilapisi oleh polisakarida kompleks yang saling terikat di dinding selnya (Liyanage *et al.*, 2026), di mana polisakarida tersusun atas monosakarida seperti xilosa, galaktosa, glukosa, dan manosa yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik (Tesvichian *et al.*, 2024). Senyawa bioaktif tersimpan di dalam vakuola sel dalam bentuk glikosida (Pucker dan Selmar, 2022), yaitu ikatan antara unit gula seperti glukosa dan ramnosa dengan molekul non-gula (aglikon) yang termasuk golongan flavonoid seperti quersetin dan kaempferol, serta fenolik seperti rutin dan isoquersetin melalui ikatan glikosidik (Jan *et al.*, 2022). Dinding sel yang tersusun dari polisakarida kompleks menjadi penghalang utama bagi pelepasan senyawa bioaktif (Bogdan *et al.*, 2025). Oleh karena itu, dibutuhkan metode ekstraksi yang mampu memecah ikatan glikosidik agar senyawa bioaktif dapat terekstrak secara optimal.

Ekstraksi senyawa bioaktif pada *Caulerpa* sp. dapat dilakukan melalui metode konvensional seperti maserasi dan Soxhlet yang sederhana dan mudah

diterapkan (Taslim *et al.*, 2024). Namun, metode ini memiliki beberapa kelemahan, seperti waktu pemrosesan yang lama, kebutuhan pelarut dalam jumlah besar, serta risiko degradasi senyawa bioaktif akibat paparan suhu tinggi (Altemimi *et al.*, 2017). Metode tersebut memiliki keterbatasan karena efisiensinya bergantung pada kemampuan pelarut menembus matriks dinding sel, sehingga tidak semua senyawa bioaktif yang terperangkap di dalamnya dapat terekstrak secara optimal (Şahin *et al.*, 2026). Tanpa adanya pemecahan polimer secara enzimatis senyawa bioaktif tetap berada di dalam sel (Tizón Alba *et al.*, 2023).

Salah satu aplikasi bioteknologi yang dapat dimanfaatkan dalam memperoleh senyawa bioaktif dalam *Caulerpa* sp. yaitu fermentasi asam laktat menggunakan *L. plantarum*. *L. plantarum* diketahui memiliki kemampuan adaptasi yang baik pada substrat nabati maupun lingkungan laut serta bersifat halotoleran (Sudibyo *et al.*, 2020). Dalam proses fermentasi, *L. plantarum* menghasilkan enzim β -glukosidase, yang dapat menghidrolisis ikatan glikosidik pada oligosakarida dan glikosida, sehingga melepaskan glukosa beserta senyawa aglikonnya (Paventi *et al.*, 2025). Hal ini didukung oleh penelitian Allahgholi *et al.* (2023), bahwa pada alga coklat *Alaria esculenta*, konsorsium LAB yang didominasi oleh *L. plantarum* terbukti mampu memfermentasi berbagai gula, meliputi glukosa, manitol, galaktosa, manosa, dan xilosa, dengan glukosa dan manitol sebagai substrat yang banyak digunakan serta menghasilkan pertumbuhan sel tertinggi dibandingkan gula lainnya. Pada fermentasi *Ulva* sp., *L. plantarum* menghasilkan enzim β -glukosidase (Brandão *et al.*, 2025)., sehingga komponen gula didalamnya dapat digunakan untuk

mendukung pertumbuhan sekaligus meningkatkan aksesibilitas senyawa bioaktif (Paventi *et al.*, 2025).

Mekanisme kerja enzim β -glukosidase yang dikode oleh gen *bglB* yaitu menghidrolisis ikatan β -1,4-glikosidik pada glikosida dan oligosakarida, sehingga menghasilkan glukosa sebagai produk akhir (Sengupta *et al.*, 2023). Ekspresi gen *bglB* diregulasi oleh jenis dan ketersediaan substrat fermentasi, transkripsi gen *bglB* diutamakan ketika sumber karbon utama berkurang dan meningkat ketika substrat β -glukosidase tersedia sebagai sumber karbon tunggal (Marasco *et al.*, 1998). Pemutusan ikatan glikosidik membebaskan unit glukosa sebagai sumber energi seluler, sementara senyawa fenolik terikat ditransformasikan menjadi aglikon bebas (Paventi *et al.*, 2025). Ekspresi *bglB* sangat dipengaruhi oleh substrat, sehingga penelitian ini menganalisis pertumbuhan *L. plantarum* menggunakan media berbasis *Caulerpa* sp. dengan media MRSB selama fermentasi, serta keterlibatan ekspresi gen *bglB* dalam proses fermentasi asam laktat tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

- 1.2.1 Bagaimana pertumbuhan *L. plantarum* yang dihasilkan dari fermentasi *Caulerpa* sp.?
- 1.2.2 Bagaimana level ekspresi gen *bglB* pada *L. plantarum* yang berperan dalam fermentasi *Caulerpa* sp.?

1.3 Tujuan

- 1.3.1 Untuk menganalisis pertumbuhan *L. plantarum* yang dihasilkan dari fermentasi *Caulerpa* sp.
- 1.3.2 Untuk menganalisis level ekspresi gen *bglB* pada *L. plantarum* yang berperan dalam fermentasi *Caulerpa* sp.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi baru mengenai pengaruh fermentasi asam laktat *Caulerpa* sp. terhadap pertumbuhan *L. plantarum*. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi ekspresi gen *bglB* *L. plantarum* yang dihasilkan selama proses fermentasi. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan inovasi produk pangan fermentasi yang bernilai gizi tinggi dan kaya antioksidan. Temuan ini diharapkan memberikan manfaat yang lebih luas bagi masyarakat dan industri pangan, khususnya dalam pengembangan pangan fungsional berbasis sumber daya hayati laut.